

ENERGÍA DE LA VEGETACION.



LA FISILOGIA DE LAS PLANTAS Y LA TEORIA MECANICA DEL CALOR,

POR ED. MORREN, PROFESOR DE LA UNIVERSIDAD DE LIEJA.

TRADUCCION HECHA

POR EL SEÑOR DON JOSE JOAQUIN ARRIAGA,

SOCIO DE NUMERO.

Digna es en verdad de estudiarse la cuestion de la accion del calor sobre los vegetales, puesto que penetra en la esencia misma de su actividad vital, y que actualmente, aunque con bastante lentitud se dilucida, á medida que la fisica y la química progresan en el conocimiento de los cuerpos y de las fuer-

zas. En presencia, pues, de una cuestión tan vasta, importa primeramente señalar el lado por dónde se la pueda estudiar.

El calor influye en el crecimiento de los vegetales, en la circulación de los jugos, en la elaboración de la sustancia celular, en la respiración y en otra multitud de fenómenos que no es del caso considerar aquí. Fijáremos solamente en las relaciones que existen entre el calor y el desarrollo de las plantas, y especialmente entre aquel y los fenómenos periódicos de la vegetación: concretada así la cuestión, aun todavía es bastante extensa para que se la pueda seguir por distintas vías.

Hasta ahora, ha sido estudiada más bien por la observación que por el método experimental, y con el celo más laudable el genio se ha dedicado á la observación de sus fenómenos periódicos; se ha observado la temperatura bajo la cual estos fenómenos se manifiestan, y se ha procurado deducir las relaciones de causa á efecto.

I. Los fenómenos periódicos considerados como hechos, independientemente de toda discusión, hacen conocer la época en que se manifiesta el fenómeno que se considera, la fecha média de esta manifestación y las desviaciones de que es capaz. A consecuencia de observaciones suficientemente repetidas, se forma así el calendario de una flora determinada, y se establecen interesantes comparaciones entre los diversos elementos de que esta flora se compone, por ejemplo, según su origen ó la naturaleza de sus especies; entre la vegetación y el reino animal, como la emigración de las aves ó la metamorfosis de los insectos; entre las floras de diversas regiones geográficas y aun entre varias épocas de una misma flora.

II. Esta última consideración conduce á entrever la manifestación de los fenómenos periódicos en sus relaciones con el clima y particularmente con el calor. Desde luego, y apoyándose en hechos, se buscan estas relaciones, se comparan entre sí climas diferentes y floras lejanas, llegándose á la ecuación del calor y del fenómeno.

Numerosas observaciones se han acumulado con este fin, y las teorías más divergentes han sido propuestas para dar á conocer las relaciones que existen entre la temperatura y la vegetación. M. Quételet ha sido el principal promovedor de este estudio en Bélgica, y con este fin ha presentado documentos numerosos y muy útiles. Trabajos importantes de idéntico género se han publicado en otros países, y entre varios mencionaremos especialmente los de Schubeler y Hoffman, Carlos Fritsch, Carlos Linsser y Guillermo Kabsch.

En estas obras y en las de M. Quételet encuéntrase citadas otras fuentes que es conveniente consultar. Las observaciones de Fritsch, Kabsch y Linsler son numerosas, y en nuestro concepto importa tomar todas las que definitivamente han sido adquiridas en bien de la ciencia, y en el interes de las investigaciones que se prosiguen en Bélgica para compararlas con las que han sido publicadas por la Academia y por el Observatorio de Bruselas.

Hasta hoy, y para determinar la temperatura que obra sobre la vegetacion, se ha procurado comparar las indicaciones del termómetro y las fases de la vegetacion; y como se observa generalmente con un termómetro puesto á la sombra, sus indicaciones no son rigurosamente aplicables sino á vegetales que se desarrollan en estas condiciones. Las conocidas experiencias de Gasparin y de De Candolle sobre la influencia de la radiacion solar, han dado resultados contradictorios y no bastan para asentar una opinion definitiva. Puédesse considerar esta influencia, ó bajo el punto de vista del tiempo necesario para la manifestacion de un fenómeno de vegetacion, ó bajo la relacion de la cantidad del producto.

Varias otras circunstancias pueden, por otra parte, intervenir, y entre ellas mencionaremos: el calor acumulado en el suelo al derredor de las raices, aun en un solo dia sereno; el enfriamiento más ó ménos rápido y profundo del suelo por efecto del hielo y de la irradiacion; el calor, que el agua absorbida por las raices, difunde en el organismo; el calor gastado por la traspiracion de las hojas; la resistencia más ó ménos enérgica que los vegetales oponen al calentamiento ó al enfriamiento atmosféricos; la influencia del viento ó del estado higrométrico del aire, etc. Es necesario, pues, tener en cuenta la duracion de la influencia calorifera ó refrescante. Así, por ejemplo, el *Agave americana* puede afrontar una temperatura de -6° Reaumur durante un corto tiempo, y no puede resistir por un período prolongado la de $+4^{\circ}$. De idéntica manera y en cuanto al calor, las plantas alpinas moririan bien pronto si se las sometiese por varios dias á una temperatura uniforme de $+10^{\circ}$, miéntras que se complacen recibiendo pasajeramente un calor más elevado. Débese, pues, reconocer, por lo ménos en la mayor parte de las plantas cultivadas, si no una aclimatacion absoluta, por lo ménos una adaptacion incontestable á climas cuyo calor es diferente. Las razas precoces se forman tanto entre los vegetales anuos, como el guisante y el maíz, como entre las especies perennes, tales como la papa, y el peral entre las leñosas; razas que reclaman ménos calor para la maduracion de sus frutos que las especies tardias. No se debe perder de vista la influencia del *atavismo* y de ciertas costumbres inveteradas entre los vegetales. Así es, que la flora del Cabo de Buena-Esperanza introducida en la cultura europea, continúa,

á lo ménos por cierto número de años, y á pesar de la accion excitante del clima, floreciendo en invierno y conservándose en reposo durante el estio. Igual cosa sucede con la vegetacion australiana. La caída de las hojas en otoño á que están sujetos en su mayor parte los árboles septentrionales, púedese tambien considerar como una costumbre que estos vegetales pierden en ocasiones en las regiones meridionales. Este hecho ha sido observado en el ciruelo y en otros árboles.

Los trabajos de Cárlos Linsser que están basados sobre un número considerable de hechos, han establecido conforme á la opinion de De Caudolle, de Schubeler y de otros, que las costumbres inveteradas por la accion del clima originario intervienen en la manifestacion de los fenómenos de la vegetacion.

Segun Cárlos Linsser: 1.º los vegetales del Norte, trasplantados al Sur, llegan á ser más precoces que los del Norte; miéntras que los del Sur trasportados al Norte retardan respecto de los de estas regiones la manifestacion de sus fenómenos: 2.º los vegetales de las montañas y los de los planios se conducen de idéntica manera y recíprocamente cuando se les cambia de region.

Cárlos Martins ha demostrado el mismo hecho.

El riguroso invierno de 1870 á 1871 le proporcionó la oportunidad de observar que, entre las plantas *actualmente indígena* en los alrededores de Montpellier, las especies realmente pertenecientes á grupos exóticos fueron las más afectadas.

Esta es tambien la opinion expresada por Waldimiro Koeffen en su importante Memoria, *sobre el calor y el crecimiento de los vegetales*. En su concepto, las especies han debido adquirir la costumbre de las fases periódicas que han tenido que sufrir el periodismo de los fenómenos atmosféricos para poder vivir, y esta costumbre se halla inveterada á tal grado, que conserva estas fases aun cuando no exista periodismo en los agentes del mundo exterior, como sucede en Madera.

Los fenómenos sobre los cuales se ha fijado hasta ahora la atencion de los fenologistas, han sido: la foliacion, la floracion, la maduracion y la desfoliacion; pero éstas no son las únicas jornadas que se deben considerar en el curso de la vegetacion: la germinacion natural y la expansion de las yemas tambien tienen importancia y no deben pasar inadvertidas.

En lo que concierne á las flores, dirémos que la formacion de los botones es un fenómeno distinto que el de la apertura de las flores, y que no está bajo la dependencia exclusiva del calor, sino bajo la de otras muchas circunstancias que intervienen. Asegúrase, por ejemplo, que la viña cesa de florecer

bajo la zona intertropical. De igual manera, las plantas boreales ó alpinas, trasportadas á las llanuras ó llevadas á latitudes más dulces, desarrollan sin extrañar el cambio un follaje exuberante, pero dejan de florecer. Puedense citar como ejemplos de este fenómeno, la *Soldanella alpina* y la *Primula minima*. Es necesario, pues, para llegar á la formacion de los botones, es decir, á lo que se puede llamar la antogenia, ciertas circunstancias distintas de las que dependen del calor, cierta edad, por ejemplo. Pero hay una cosa digna de notarse y es, que la edad de todos los individuos salidos de la multiplicacion de una misma cepa, se cuenta como si hubiesen permanecido unidos á ella. En el cultivo europeo, el *Gincko biloba*, la *Virgilea lutea*, el *Cedrus Libani* y la *Saxe-Gothea conspicua*, florecen simultáneamente bajo muy diferentes circunstancias.

Sábese tambien que en la flora silvestre y rural de Europa los botones se forman, en general, durante el año que precede á su apertura, No es todo, pues, calor-dinámia en la floracion. El efecto principal del calor consiste en disponer al vegetal y en preparar las materias plásticas que deben ser utilizadas por la floracion.

Resumiendo dirémos: que nos hemos esforzado en hacer ver por lo que antecede, que en la foliacion, la floracion, la maduracion y la desfoliacion, se manifiestan fenómenos independientes de la accion de la temperatura.

Pero si nos ocupamos en estudiarla, notarémos en cada especie vegetal un cero fisiológico, es decir, un punto de la escala termométrica bajo del cual el calor es ineficaz. En ciertas especies alpinas ó boreales, tales como el *Galanthus nivalis* y la *Soldanella alpina*, este cero idiosincrásico casi coincide con el termómetro; pero está á $+ 4^{\circ}$ Reaumur para la cebada, á $+ 4^{\circ},8$ para el trigo, á $+ 12^{\circ}$, ó $+ 13^{\circ}$ para el cocotero.

M. Alfonso De Candolle llama calor inútil á todo el que no produce esta temperatura mínima, y advierte con razon, que es necesario eliminarlo de los cálculos, es decir, que solo debe tenerse en cuenta la temperatura média de los dias en que el calor ha pasado de este minimun específico. Segun Kabsch, cuyas ideas débense tomar en consideracion, el calor de la noche, es decir, el calor que interviene fuera de la luz durante el reposo fisiológico de los vegetales, tambien es calor inútil y debe ser eliminado. Conforme á esta opinion, no es la temperatura média del dia entero la que ha de hacerse intervenir, sino más bien la de las horas del dia: á esto es á lo que Kabsch llama *el dia de vegetacion*. Valuadas así las temperaturas, son más elevadas. Ahora, el largo del dia, siendo muy variable segun las estaciones y las latitudes, por lo ménos fuera de la eclíptica, resulta que el calor varía segun las mismas circunstancias. No debe, pues, ser indiferente que el calor medio

de + 16° obre durante 12 horas del día como sucede en el Ecuador, ó durante 18 ó 20 horas, como pasa en las regiones polares. Explícase de esta manera, para ciertas partes, la rapidez extraordinaria de la vegetacion en las comarcas septentrionales. Aplicando Kabsch su método, ha sido conducido á un resultado que se aleja de la opinion general, á saber: que las sumas de calor necesarias para los diversos periodos de la vegetacion de una especie, tales como la germinacion, la floracion y la fructificacion, están muy aproximadas las unas á las otras. El mismo sabio ha formulado con mucha precision las tres siguientes leyes de fisica vegetal:

1.^a Existe para cada planta sobre la escala termométrica, un mínimun y un máximun, entre los cuales la especie es capaz de ejercer sus funciones orgánicas.

2.^a Toda germinacion, toda evolucion, toda maduracion, exige cierto grado de temperatura muy variada segun las especies.

3.^a Cada especie vegetal, para recorrer las diversas fases de su existencia, exige cierta cantidad de calor. Así, la viña por ejemplo, se conserva entre — 19° y + 20°; pero no entra en actividad bajo una temperatura inferior á + 8°, y exige para dar vino potable 2900°.

Deberian hacerse experiencias para verificar y aplicar estas leyes.

M. Hugo Vries estudiando la influencia de la temperatura sobre la germinacion de las plantas, ha demostrado ya, que existe para cada especie un punto de eleccion en el que el crecimiento se cumple con mayor rapidez que á cualquiera otra temperatura. Este resultado está conforme con la segunda ley de Kabsch. Resulta tambien de las experiencias del mismo naturalista, que para la mayoría de los vegetales la temperatura-limite de la vida, se encuentra entre 45° y 47° en el agua, y entre 50° y 52° en el aire ó en la tierra seca. Como por otra parte, el límite inferior de la accion calorífica se encuentra á 0° ó cerca del cero, vése que los límites entre los cuales las experiencias deben establecerse no están muy lejanos el uno del otro.

Parécenos que las observaciones de los que han estudiado los periodos dan de sí todo lo que es posible, por lo ménos en lo que concierne á los hechos observados, y que es necesario de hoy en adelante estudiar la accion del calor por el método experimental.

III. Un problema de la más alta importancia, y que hasta hoy se ha visto con negligencia, es el de las relaciones que existen entre el calor recibido y el peso adquirido por la planta bajo la accion de los rayos solares y especial-

mente entre la cantidad de carbon fijado en la materia orgánica. Segun lo que se sabe actualmente, calcúlase que bajo un clima templado, una hectara de bosque, de pradera, ó de terreno cultivado, fija en un año de 1,500 á 1,600 kilógramos de carbono, y que para este trabajo los organismos vegetales utilizan entre 1 y 4 milésimos del calor que llega por la radiacion solar sobre el espacio que ocupan.

Es evidente que algunos de los fenómenos sobre los cuales se ha fijado la atencion de los que establecen la ley de los periodos, germinacion, foliacion y otros, no son más que estaciones, señales más ó ménos convencionales en la vida de las plantas: y bien, como todo crecimiento supone movimiento, y todo movimiento requiere un gasto de fuerza, es una trasformacion de calor.

Sábese que existe un estado estático del ázoe, ázoe neutro, en el cual se bañan los séres vivientes sin pedirle más que el medio para la existencia, y que existe tambien un estado dinámico del ázoe, un ázoe orgánico que entra en las combinaciones activas y que es el elemento viviente por excelencia. Parecenos que es necesario distinguir tambien dos manifestaciones diferentes del calor. Existe la temperatura en que viven los organismos y en la cual pueden solamente manifestar su actividad, y hay tambien una acción calorífica que interviene mecánica ó químicamente por sus trasformaciones, en los fenómenos biológicos. Este calor, del que se puede observar el gasto y restitution en los fenómenos mecánicos como en los actos biológicos, es el mismo que obra juntamente con la luz, y que en las plantas interviene para la reduccion de los compuestos minerales y entra en la elaboracion de las sustancias orgánicas. Puédese afirmar que las plantas verdes son, en virtud de su actividad organizatriz, el primero y único manantial de todo movimiento orgánico. En todós los vegetales verdes, los hechos esenciales son los mismos; y aunque funcionan bajo climas muy diferentes, todos elaboran sustancias hidrocarbonadas y cuaternarias. Por este trabajo hay produccion de compuestos endotérmicos.

En los vegetales hay tambien fenómenos de movimiento: para el trasporte de la más pequeña molécula desde la extremidad de la raíz que la absorbe hasta la cima de la planta, existe un movimiento, y por débil que pueda ser, si no es producido por otro movimiento preexistente, no puede atribuirse sino á la trasformacion del calórico.

Creemos que el calor utilizado, es decir, realmente absorbido para la manifestacion de estos fenómenos de elaboracion y de crecimiento, puédese determinar en forma de calorías; en otros términos, por la fisica vegetal se llegará á la determinacion del equivalente mecánico del calor en el trabajo

organizador de los vegetales. Como se ve, esta investigacion no es igual á la que consiste en demostrar entre qué grados termométricos se manifiestan los fenómenos de la vegetacion. Seria conveniente, pues, procurar determinar el calor existente en las sustancias que desempeñan un papel activo en el organismo, y como es de esperarse, fijar tambien la relacion entre el calor necesario para su produccion y el que se desprende durante su descomposicion. Tenemos en expectativa á la fécula; y en esta direccion se marchará para descubrir el origen de todo movimiento orgánico; porque así como la fuerza es distinta del mecanismo, y está solamente dirigida por este mecanismo, de igual manera la fuerza es distinta del organismo y solamente coordinada por él.

Hemos visto precedentemente que, segun algunos datos suministrados por Chevandier y Boussingault, M. Becquerel ha podido fijar en 4 ó 5 milésimos del calor dado por los rayos solares, la proporcion del calor fijado por la vegetacion para la reduccion del ácido carbónico y la asimilacion del carbono. Esta proporcion acaso aumentaria un poco si se tuviesen en cuenta el hidrógeno fijado y algunos otros cuerpos combustibles que están incluidos en las combinaciones orgánicas por el trabajo reductor de los vegetales. Pero el calor que así se haya empeñado, por decirlo así, en el trabajo organizador y químico de los vegetales, no es el único que se debe considerar para el cálculo de la mecánica vegetal. Preciso es tambien apreciar el gasto efectuado por el vegetal mismo.

Un cuerpo que cae produce calor; una manzana, por ejemplo, al desprenderse del árbol manifiesta este fenómeno. Podríase muy bien reflexionar sobre las leyes en virtud de las cuales esta manzana ha subido al árbol, porque es evidente que no ha ascendido por sí sola. Haciendo la ligera reserva del poco carbono que haya tomado al aire ambiente, toda la sustancia de que el fruto se compone ha sido elevada del suelo á la altura en que se encuentra. Esta elevacion supone un trabajo mecánico proporcional al peso de la manzana y á la altura en que ella se encuentra respecto de las raices. Cuando el fruto cae, este trabajo se reproduce bajo la forma de movimiento, y cuando éste se detiene se trasforma en calor. Y á ménos que no se suponga que los cuerpos puedan *crear* movimiento y calor, es necesario reconocer que el calor de los rayos solares es el que ha llevado al fruto á las partes elevadas de la planta. Idéntica cosa sucede con las hojas y las ramas, y todos los órganos de todos los tejidos. Tambien es preciso introducir como factor, este trabajo mecánico en el cálculo del calor solo utilizado.

Importa, además, saber que la accion de los rayos solares sobre la materia puesta así en movimiento en los vegetales, no es directa ni inmedia-

ta. Propiedad de un poder maravilloso es la de estos organismos, que encierran el calor en las sustancias organizadas por ellos. Cuando los actos de crecimiento, ó lo que es lo mismo, cuando los fenómenos de movimiento se manifiestan, es en la desorganizacion de estas mismas sustancias donde los organismos encuentran la fuerza necesaria para cumplirlos. En efecto, todo movimiento íntimo en el organismo, todo crecimiento, toda circulacion, se manifiestan por un acto de respiracion durante el cual hay desprendimiento de calor: una parte de él es utilizado en forma de movimiento orgánico y el resto se desprende en forma de temperatura. La accion de los rayos solares sobre los movimientos orgánicos es, por tanto, indirecta é inmediata.

En resúmen, el calor útil representado por un vegetal, consiste en un trabajo de organizacion ó trabajo químico, que se puede reproducir quemando el vegetal, y en un movimiento ó trabajo físico, que igualmente se puede reproducir por el peso del sér multiplicado por su altura.

Nos ocuparémos aquí en considerar el trabajo empleado en su formacion, y que no está fijado en el mismo vegetal, por ejemplo el de su evaporacion.

Lo que acabamos de establecer permite ya asentar como ley que, en igualdad de circunstancias, la cantidad de carbono fijada por una vegetacion, está en razon de su menor altura, puesto que tal razon supone menor gasto de movimiento. Así, un monte jóven debe con superficie foliácea igual, fijar más cantidad de carbono que un arbolado alto. De esta manera se explica por qué un vegetal podado á flor de tierra, echa al año siguiente retoños más elevados y robustos.

No habria fundamento para invocar aquí, con el fin de explicar la elevacion de la materia vegetal desde el suelo hasta la rama, otras causas de movimiento, tales como la capilaridad y la difusion, porque se encontraria uno obligado á admitir la imposibilidad de que el calor podria ser creado. La capilaridad y la difusion no son causas, sino condiciones de movimiento, y puesto que, como hemos visto, la manzana al caer desarrolla calor, resulta que este agente es el que la ha elevado.

La propiedad, pues, que tienen los organismos vegetales de condensar calor y movimiento al estado de potencia, constituye lo que puede llamarse energia de la vegetacion. Cuando el calor y el movimiento pasan al estado activo, prodúcense fenómenos de vigor. La energia es una endotermia, y el vigor una exotermia.

(Revista científica de la Francia y del extranjero.—Abril 11 de 1874.)